深基坑管桩支护的影响效果分析

刘克文[1,2] 阮永芬[2] 林伟[1] 蔡斯[2] 贾谷荣[1]

（1. 十四冶建设云南勘察设计有限公司, 昆明 650031；2. 昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650500）

摘要：深基坑工程是一个非常复杂的岩土工程问题，涉及到土层性质、支护结构、地下水及周边环境等，深基坑支护方案选择的合理性直接影响支护结构的安全性、经济性、工期等。在深基坑支护设计中，应结合场地情况及周边环境特点，创新性的选择支护型式，既能解决实际工程问题又各方面的比较都较优。现以某深基坑支护设计方案进行论述，通过设计计算、施工、变形监测及经济等方面进行比较分析，多指标下考察分析采用灌注桩及管桩支护的综合效益，对后续类似工程会起到积极的指导和借鉴意义。

关键词：深基坑；管桩支护；综合效益；

中图分类号：TU443 **文献标识码：**A **文章编号：**-03

Impact effect analysis of the pipe pile support in deep foundation Pit

LIU Kewen[1,2] RUAN Yong-fen[2] LIN Wei[1] CAI Si[2] JIA Gu-rong[1]

(1.The 14th metallurgical construction corporation Yunnan survey and design co., LTD Kunming, Yunnan 650031; 2 Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, *China*)

Abstract: Deep foundation pit engineering is a very complicated geotechnical engineering problems, involved in the soil properties, supporting structure, groundwater and the surrounding environment, such as the rationality of the deep foundation pit supporting scheme selection directly affects the safety, economy, the construction period, etc. In the support design of deep foundation pit, it is necessary to combine the situation of the site and the surrounding environment, and the innovative choice of support type can solve both the practical engineering problems and the comparative advantages of all aspects. Now taking a deep foundation pit supporting design scheme is discussed, through the design calculation, construction, the deformation monitoring and economic aspects such as comparative analysis, the multi-index analysis of piles and pile under the supporting structure of comprehensive benefits, on subsequent similar project will have a positive guidance and reference significance.

Key words: deep foundation pit; tubular pile supporting; comprehensive benefits

1 引言

近年来我国城市化建设的快速发展，建设用地紧张、交通不便、空间狭小等问题突出，随着对地上地下寻求发展空间[1]，从而产生了很多的深基坑。深基坑工程是一个非常复杂的岩土工程问题[2]，涉及到土层性质、地下水、周边环境等。基坑支护结构一般都为临时性的，进行支护设计时，如何充分考虑场地的工程地质、水文地质条件及周边环境情况，因地制宜的设计稳定性好、变形小、投入少、工期能够保证，施工难度又不大，即在多指标考察下，综合效益最优的支护方案，是对基坑支护设计人员的挑战，也是建设方关心探讨的问题。现在基坑支护设计对使用锚索的限制[3]以及工程质量为第一要求，大直径的旋挖灌注桩在基坑支护工程中的应用越来越广泛[4]。现以某实际深基坑支护设计方案为例，根据基坑周边建（构）物的变形监测结果、支护结构内力及变形计算结果、工期、造价、成桩工艺及成桩效果等资料，对同一基坑不同剖面分别采用旋挖灌注桩及钢管桩进行支护效果进行对比分析，分析结果可为今后类似基坑支护方案选择设计时提供参考。

2 工程概况

2.1 基坑及周边环境条件

收稿日期：2018-5-8

基金项目：云南省科技计划项目，项目编号：2018011100003；横向课题,项目编号：KM8B-QTHT-2017-01 及 201550101000012。

作者简介：刘克文(1972-)，男（汉），云南禄丰，高工，本科，主要从事岩土工程方面的勘察及设计，13888473339，461547492@qq.com.

通信作者：阮永芬(1964-)，女（汉），云南宣威，教授，博士，主要从事岩土工程方面的研究，13648871987，ryy64@aliyun.com.

拟建主要建筑物为三栋超高层住宅楼，其余为低层商业建筑及地下室，均为剪力墙结构。项目设整体的三层地下室。根据建设单位提供地勘报告资料、周边路网管线资料、现场放线测量结果，考虑坑内 300mm 深的排水沟后，基坑实际开挖深度为 14.1m，基坑周长 517.6m。基坑周边红线外环境情况：基坑东侧为围墙及 30m 宽有重车运行的白塔路；南侧为 20m 宽规划路，路对面为住宅小区；西侧为 15m 宽规划路；北侧为围墙及 24m 宽规划路，路对面为 10F 国税局办公楼。基坑白塔路一侧安全等级取一级，其余为二级。

2.2 工程水文地质条件

根据钻探揭示的土层结构及其物理力学性质，场地地基土按成因类型可分为第四系人工堆积层（Q^{ml}）、冲洪积层（Q^{al+pl}）、冲湖积层（Q^{al+l}）、残坡积层（Q^{el+dl}）及二迭系下统茅口组（P_1m）基岩等 5 个大层。场地土层呈典型的多韵律交替沉积特征，基岩（灰岩）面起伏较大。

场地地下水类型为第四系松散层孔隙水及基岩（灰岩）岩溶水。根据钻孔抽水试验结果，地下水影响半径为 86.1m-92.9m，故对基坑影响较大。松散层孔隙水具弱承压性，主要含水层为②$_2$层圆砾，其透水性和富水性较强；其次为②$_2^a$、③$_1$、③$_2^b$、③$_3$、④$_4^a$、③$_4^b$等层粉砂，其透水性中等，富水性弱至中等。场地浅部松散层地下水水位埋藏较浅，地下水位、水量随季节变化较大，对基坑工程影响较大。各土层的物理力学性质指标如表 1 所示。

表1　土层物理力学参数

Table 1 physical and mechanical parameters of soil

土层编号	土层名称	重度 γ	直快		固快		锚固体与土体摩阻力	承载力特征值 f_{ak}
			C_k	$φ_k$	C_k	$φ_k$		
		kN/m^3	kPa	°	kPa	°	kPa	kPa
①	杂填土	19.0*	20.0*	11.0*	25.0*	13.0*	35	120
②$_1$	粉质粘土	18.9	22.0*	12.0*	41.2	17.7	70	160
②$_1^a$	有机质粘土	16.0	18.0*	9.0*	31.7	13.1	50	110
②$_2$	圆 砾	21.0*	5.0*	30.0*	8.0*	35.0*	200	250
②$_2^a$	粉 土	19.1	9.0*	16.0*	10.4	17.0	80	180
②$_2^b$	粘土	17.9	27.0*	11.0*	29.6	12.0	70	130
③$_1$	粉 砂	18.9	6.0*	19.0*	11.5	23.3	70	150
③$_1^a$	粉质粘土	17.6	25.0*	10.0*	28.0*	12.0*	50	110
③$_2$	粘 土	19.1	22.0*	12.0*	43.6	17.4	80	180
③$_2^a$	有机质粘土	15.9	22.0*	11.0*	33.4	14.6	55	130
③$_2^b$	粉 土	18.7	8.0*	20.0*	13.0*	23.0*	70	150
③$_3$	粉 砂	19.3	5.0*	20.0*	11.2	23.3	70	170
③$_4$	粘 土	18.9	25.0*	12.0*	43.2	17.1	75	170

备注：1、表中注"*"号数据为经验类比值。2、根据地勘报告，场地内地基土除浅部人工填土、有机质黏土为欠固结土外，其余土层皆应为正常固结土。故杂填土、有机质黏土、圆砾取直接快剪指标，其余取固结快剪指标。

2.2 基坑支护

基坑支护剖面的划分[5]见基坑支护平面布置图 1。为节约支护成本，基坑东侧局部支护桩采用可回收钢管桩，型号为 Q235ф830×12 焊接钢管。支护剖面中 1-1、4a-4a、4b-4b 剖面，上部 3.5m 取台放坡后采用ф830 钢管桩@1.1m +4 排锚索@2.2m；5a-5a 剖面（主楼距坑边 12.2m），整体取土 3.5m 取台放坡后采用ф830 钢管桩@1.1m+4 排锚索@2.2m；5b-5b 剖面整体取土 3.5m 后采用ф830 钢管桩@1.2m+4 排锚索@2.4m；2-2 剖面宽 4m、高 3.5m 取台后采用ф800 @1.3m 灌注桩+4 排锚索@2.6m；3-3 剖面宽 1.8m、高 3.5m 取台后采用ф800 灌注桩

@1.1m+4 排锚索@2.2m。止水帷幕桩采用φ600@400 的长螺旋搅拌桩，桩长 18-20m。所有支护面都进行了挂网喷砼支护，桩顶设置锁口梁。采用钢管桩及灌注桩的支护剖面图详见图 2 及图 3 所示。

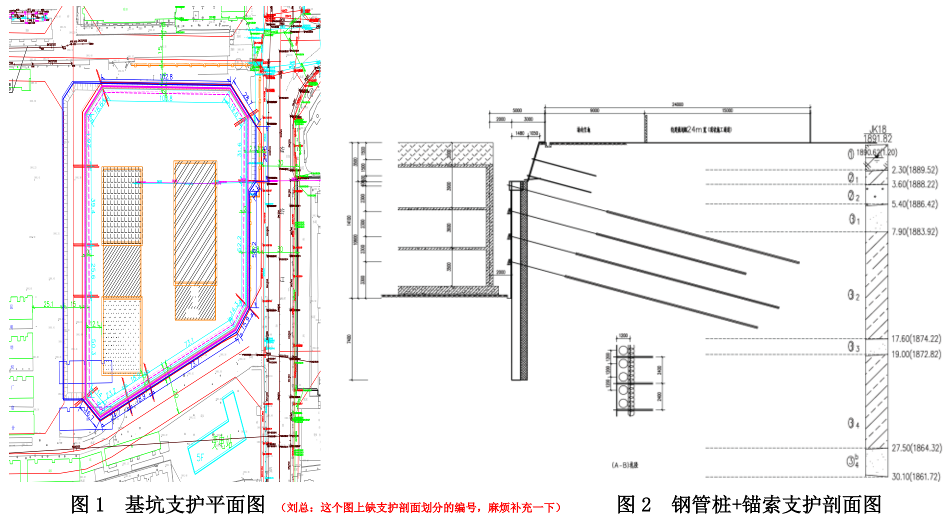


图 1　基坑支护平面图 （刘总：这个图上缺支护剖面划分的编号，麻烦补充一下）　　图 2　钢管桩+锚索支护剖面图

Fig.1 Plane graph of deep excavation pit supports　　Fig.2 Profile map of tubular pile and anchor cable supporting

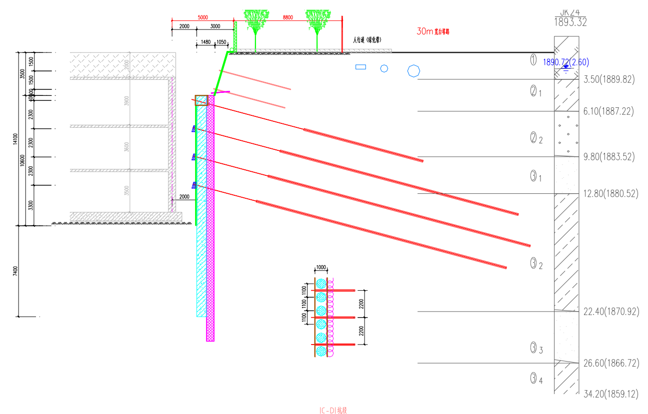


图 3　灌注桩+锚索支护剖面图

Fig.3　Profile map of case-in-place pile supporting and anchor cable supporting Profile map

3、支护效果分析

3.1 两种支护桩受力分析

采用理正深基坑支护结构设计软件 7.0，对直径为 0.8m 的 C30 钢筋混凝土支护桩及 Q235 φ830×12.0 的无缝钢管支护桩进行内力计算结果对比分析。为方便比较分析，选择的两个支护剖面的基坑深度 14.1m， 支护桩嵌固深度 7.4m，桩顶标高在-3.50m，桩间距 1.2m，冠梁尺寸 1.2x1.8m，周边附加荷载等条件都基本相同的支护剖面进行计算分析。计算结果分别见图 4 及图 5。图 4 是及图 5 分别是采用钢管桩及钢筋混凝土桩进行支护的计算结果。对比分析计算结果发现，采用钢管桩进行支护时，其桩身的最大位移值较钢筋混凝土桩的大，而桩身的最大弯矩则是钢筋混凝土桩的较小，而对桩身最大剪力的影响基本无影响。

Comment [r1]: 两种不同支护桩理正软件分析的各个参数是如何考虑的?

Comment [r2]: 分析原因?

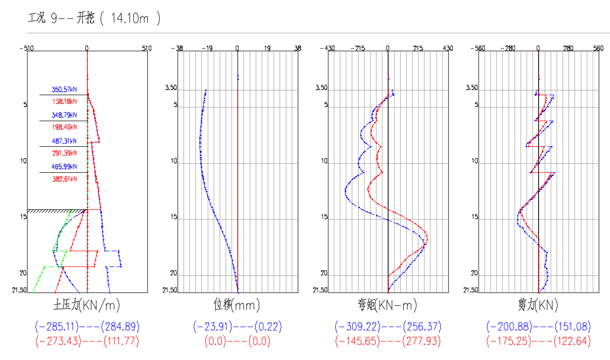


图 4 钢管桩支护内力计算结果

Fig.4 Calculation results of steel pipe pile support internal force

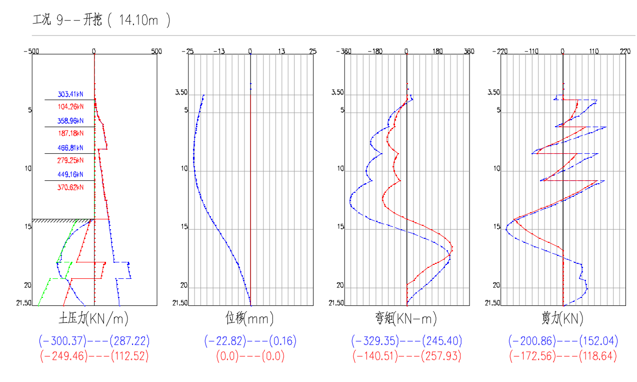


图 5 灌注桩支护内力计算结果

Fig.5 Calculation results of cast-in-place piles support internal force

3.2 变形分析

对周边建筑物、道路、地下管线及围护墙顶位移的第三方监测结果进行分析，监测结果如表 2 所示。围护墙顶竖向位移最大变化值-4.17mm，水平位移最大变化值 4.3 mm，位移量都较小；地下管线最大沉降 5.51mm；周边建筑物竖向位移 4.82mm；周边道路竖向位移大于水平位移，最大竖向位移仅 4.99mm。即变形值都远小于控制值[6]，支护结构安全可靠。图 5 给出了变形监测最终结果，从监测结果可以看出，采用管桩支护的变形监测结果稍微大一点，最大 4.3mm，采用钢筋混凝土灌注桩支撑，最大变形达 3.0mm，相差不大，变形很小，只是允许的控制值 30mm 的 1/10，所以采用钢管桩支护也完全能够满足要求，且施工工期短。

表 2 基坑围护桩顶及周边环境监测值及控制值

Table3 the monitoring and control values of tunnels and enclosure wall at the top of foundation pit

监测项目	工作量	累计变化值	变化速率	控制值	目前状况
周边建筑物竖向位移	62 次/23 个点	4.82mm	0.02mm/d	25mm	可控
周边路面监测竖向沉降	62 次/12 个点	4.99mm	0.02mm/d	32mm	可控
周边路面监测水平位移	62 次/12 个点	1.8mm	0.01mm/d	32mm	可控
地下管线监测	62 次/5 个点	5.51mm	0.01mm/d	20mm	可控
围护墙顶沉降量	62 次/28 个点	4.17mm	0.02mm/d	32mm	可控
围护墙顶水平位移量	62 次/28 个点	4.3mm	0.1mm/d	30mm	可控

3.3 造价分析

因是试验研究，所以大部分的支护还是采用采用φ800 的长螺旋钻孔灌注桩。采用φ800

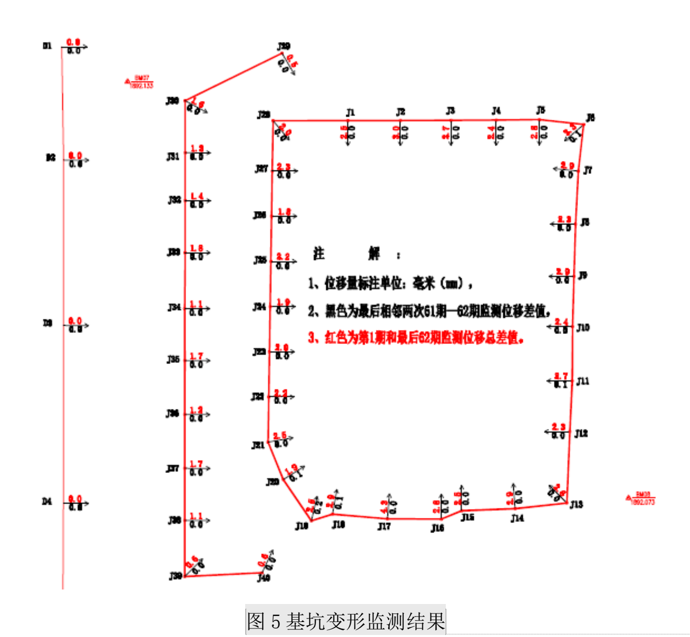


图 5 基坑变形监测结果

Fig.5 Deformation monitoring results of foundation pit

Comment [r3]: 图形不清楚

的旋挖成孔 C30 的混凝土灌注桩，工程量是 5173m，每米的单价是 697.8 元，总价是 3609709.05 元。φ830 钢管桩的工程量是 630m，综合单价是 525 元，总价是 330750 元；止水采用直径 600 深层搅桩，总价是 897582 元。从比较φ800 的长螺旋钻孔灌注桩每米的单价就高于φ830 钢管桩 172.8 元，若把长螺旋钻孔灌注桩都改为钢管桩支护，则总价上就可节约 893894.4 元。

Comment [r4]: 二者造价是依据什么算出来的？

4、钢管桩施工及回收

钢管桩采用隔桩施工，接头绑搭焊采用 ICE 液压振动锤施工。鉴于项目地处市中心，建筑垃圾及圆砾层较厚，故钢管桩在②$_2$圆砾层以上采取引孔工艺，平均引孔深度 2.5m，具体深度根据现场实际情况确定。基坑上部揭露较厚松散状圆砾层，根据现场旋挖成孔灌注桩试钻情况，若泥浆护壁塌孔严重，就在上部圆砾层段采用钢护筒护壁工艺。

为便于施工及回收，桩顶跳格出露冠梁 0.5m、1.0m；对需回收的钢管桩在网片与钢管桩间设置薄膜，以确保喷射混凝土不与钢管桩粘结。

钢管桩回收要点：1）分段回收，分段长度 20m 内；2）同一回收段内，先施工的后回收、后施工的先回后（即先拔桩头较高部分，再拔桩头较低部分）；3）土方分层回填至设计锚索标高，放张锚索，然后回填土方至上层锚索标高、放张锚索……循环施工至冠梁顶后，方可回收；4）采用 ICE 液压振动锤悬挂于履带吊上，起拔前先振动钢管桩以液化桩边土体，便于回收；5）钢管桩部分锚索考虑钢管桩回收需要，需对锚索放张，故应保证锚头钢绞线预留长度＞70cm，且钢绞线端头采用扎丝缠绕，避免破损。

图 6 为φ830 钢管桩支护示意图，图为φ800 灌注桩支护交界位置图；桩顶跳格出露 0.5m、1.0m 与冠梁相连，而灌注桩桩顶露钢筋伸入冠梁。图 8、9 分别为焊接后的钢管桩及钢管桩施工图。从施工的速度来看，管桩施工较灌注桩施工快得多，灌注桩施工是先成孔，放钢筋笼及浇灌混凝土，混凝土达到一定的强度还需要一定的时间，而钢管桩打入就可，所以钢管桩的施工工期较灌注桩的短，而且钢管桩可以回收重复使用，而灌注桩不行。

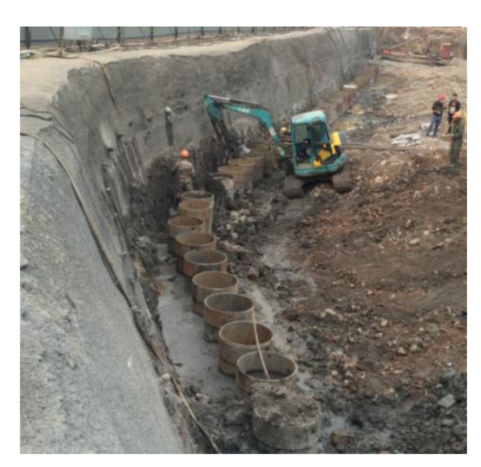


图 6 Φ830 钢管桩支护示意图

Fig.6 Φ830 supporting Profile map of steel pipe pile



图 7 Φ830 钢管桩及 Φ800 灌注桩交接位置

Fig.7 connection position map of Φ830the steel pipe pile and case-in-place pile



图 8 焊接好的 Φ830 钢管

Fig8. Φ830 welded steel pipe pile



图 9 Φ830 钢管打桩机示意图

Fig.9 the schematic of driver Φ830 steel pipe pile

6 结论

1)在场地及周边环境条件复杂的情况下，建议进行多种支护方案分析比较，择优方案进行支护设计。

2）通过对钢管桩及钢筋混凝土灌注桩两种支护形式在同一基坑的支护效果进行比较分析，采用钢管桩进行支护效果好，工期短，可回收，节约资源，降低造价。支护结构的竖向及最大水平位移，周边道路及管线的变形均在相应规范要求允许的范围内。即采用钢管桩进行支护设计的方案是十分有效和安全的，能够很好的保护周边环境、节约资源、降低造价。

参考文献

[1] TAN Y,LI M W.Measured performance of a 26m deep top-down excavation in downtown shanghai[J].canadian geotechnicaljournal,2011,48:704-719.

[2] 龚晓南.关于基坑工程的几点思考[J].土木工程学报,2005,38(9):99-102.

[3] 陈旺. 旋挖钻孔灌注桩在基坑支护工程中的应用 [J].建筑技术开发,2016,(1):82-84

[4] 昆建通【2011】363号文，昆明市住房和城乡建设局关于基坑工程中限制使用锚杆（索）的通知。

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑支护技术规程（JGJ120-2012）[M].北京:中国建筑工业出版社.

[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑监测技术规程(GB50497-2009)[M].北京:中国计划出版社,